

PENGARUH PRA-PERLAKUAN ADSORPSI KARBON AKTIF TERHADAP FOULING MEMBRAN ULTRAFILTRASI POLISULFON (UF-PSf) PADA PENYISIHAN BAHAN ORGANIK ALAMI (BOA) AIR GAMBUT
EFFECT OF ACTIVATED CARBON PRETREATMENT TO FOULING OF POLYSULFONE ULTRAFILTRATION (UF-PSf) MEMBRANE FOR REMOVAL OF NATURAL ORGANIC MATTER (NOM) IN PEAT WATER

Aulia Rahma¹, Mahmud² dan Chairul Abdi²

¹Mahasiswi Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, ULM

²Dosen Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, ULM JL.

A. Yani Km 36, Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714, Indonesia

E-mail: rahmaaulia95@gmail.com

ABSTRAK

Fouling merupakan salah satu kendala yang membatasi kinerja membran ultrafiltrasi (UF). Keberadaan Bahan Organik Alami (BOA) menjadi penyebab utama terjadinya fouling membran pada air gambut. Pra-perlakuan adsorpsi mampu menjadi solusi untuk mengurangi fouling dan meningkatkan performa membran UF polisulfon (UF-PSf). Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh pra-perlakuan adsorpsi terhadap perubahan nilai fluks pada membran UF-PSf, dan menganalisis model pembentukan fouling yang paling tepat untuk menggambarkan proses hibrid adsorpsi dan UF-PSf. Proses hibrid adsorpsi dan UF-PSf dilakukan pada kondisi optimum dengan pH 4 dan dosis optimum Powdered Activated Carbon (PAC) 1040 mg/L pada tekanan 1-3 bar. Tekanan operasi terbaik terjadi pada tekanan 3 bar dengan nilai fluks permeat sebesar 85,064 L/m².jam dan rejeksi BOA sebesar 85,24% (UV₂₅₄) dan 85,07% (KMnO₄). Modified Fouling Index (MFI) merupakan pemodelan yang tepat untuk menggambarkan pembentukan fouling pada proses hibrid adsorpsi dan UF-PSf pada penyisihan BOA air gambut. Tekanan 1 bar memiliki potensi fouling yang tinggi dengan nilai R² sebesar 0,998.

Kata kunci: air gambut, bahan organik alami, fouling, MFI, ultrafiltrasi

ABSTRACT

Fouling is one of the constraint that limit the performance of ultrafiltration (UF) membranes. The presence of natural organic matter (NOM) is one of the main causes of fouling membrane in peat water. Adsorption pretreatment is applicable to this problem in order to reduce of fouling membrane and enhance UF-PSf membrane performance. The objectives of this research are to investigate the effect of adsorption pretreatment to flux on UF-PSf membrane, and to analyze the forming of fouling model for hybrid adsorption and UF-PSf process. Hybrid adsorption and UF-PSf process conducted under optimum conditions with pH 4 and Powdered Activated Carbon (PAC) dose of 1040 mg/L at pressure 1-3 bar. The best operating pressure occurs at 3 bar with permeate flux is 85,064 L/m².jam and rejection of NOM are 85,24 (UV₂₅₄) and 85,07% (KMnO₄). Modified Fouling Index (MFI) is an appropriate model to illustrated the formation of fouling on hybrid adsorption and UF-PSf process on BOA removal in peat water. Pressure 1 bar has a high fouling potential with R² 0,998.

Keywords: fouling, MFI, NOM, peat water, ultrafiltration

1. PENDAHULUAN

Secara kuantitatif air gambut berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber air baku di Kalimantan. Air gambut memiliki karakteristik yang khas, yakni memiliki pH rendah (pH 3,7-4,3), berwarna coklat tua dan mengandung senyawa organik yang tinggi (38-280 mg/L KMnO_4) yang dipengaruhi oleh kondisi tanah gambut dibawahnya (Pratiwi dkk., 2016). Bahan organik alami (BOA) dalam air gambut merupakan salah satu parameter kunci kualitas air yang mempengaruhi proses pengolahan air minum (Aziza, 2013). Keberadaan BOA pada air gambut dapat menyebabkan warna, bau, kromatisasi, dan pertumbuhan kembali biologi pada jaringan distribusi air yang menyebabkan terbentuknya produk samping dari desinfeksi berupa senyawa karsinogen (Tang dkk., 2014, Zularisam dkk., 2009).

Ultrafiltrasi (UF) merupakan metode yang dapat digunakan untuk menyisihkan BOA pada air gambut.. Beberapa penelitian melaporkan membran UF mampu menyisihkan kandungan BOA pada air gambut (Herwati dkk., 2015, Notodarmojo dan Deniva, 2004, Syarfi, 2007, Wardani, 2013). Meskipun membran berpotensi dalam pengolahan air, akan tetapi dalam penerapannya ditemukan satu masalah utama yakni terjadinya fouling (Zularisam dkk., 2006). Fouling dapat menurunkan fluks membran (Zularisam dkk., 2007), menurunkan kinerja membran, meningkatkan biaya operasi, dan seringnya pencucian membran (Mahmud dan Noor, 2005).

BOA merupakan faktor utama penyebab fouling membran UF pada air permukaan (Arhin dkk., 2016, Campinas dan Rosa, 2010, Gao dkk., 2011). Menurut Malczewska dan Benjamin (2016) BOA dengan berat molekul kecil berpengaruh besar terhadap terjadinya fouling. Kim dkk. (2008) menyebutkan karbon aktif dapat menyisihkan BOA dengan berat molekul kecil (lebih kecil dari diameter pori membran). Pra-perlakuan adsorpsi berpengaruh terhadap penyisihan organik dalam membran karena sifat karbon aktif yang mampu mengikat molekul organik sehingga dapat memperkecil kemungkinan terjadinya fouling (Widjaja dkk., 2009). Karbon aktif merupakan adsorben yang sering digunakan pada proses hibrid adsorpsi-UF karena kemampuannya yang bagus dalam menyisihkan kontaminan serta ketersediaannya mudah didapat (Gao dkk., 2011). Beberapa penelitian melaporkan pra-perlakuan adsorpsi pada UF dapat meningkatkan fluks, kinerja filtrasi lebih lama dan mengurangi frekuensi pencucian membran secara kimia (Konieczny dan Klomfas, 2002, Lee dkk., 2007).

Selulosa asetat (CA) merupakan bahan pertama pembuat membran asimetrik dengan sifat ketahanan yang terbatas terhadap bahan kimia, sehingga diperlukan bahan polimer lain yang lebih baik (Sivakumar dkk., 2006). Polimer lain yang dapat digunakan sebagai bahan pembuat membran adalah polisulfon (PSf). PSf memiliki karakteristik mekanik yang baik, struktur yang kuat dan stabil pada pH 1-13, namun bersifat hidrofobik yang berpotensi meningkatkan fouling membran (Wardani, 2013). Modifikasi membran dengan aditif polietilen glikol (PEG) dapat mengubah sifat membran PSf menjadi hidrofilik sehingga fouling dapat direduksi (Yunos dkk., 2014). Sebelumnya Aziza (2013) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh jenis adsorben terhadap fouling pada proses hibrid adsorpsi dan UF berbahan selulosa asetat untuk menyisihkan BOA dalam air gambut. Namun demikian, belum ada penelitian mengenai pengaruh pra-perlakuan adsorpsi karbon aktif terhadap fouling membran berbahan polisulfon pada penyisihan BOA air gambut. Penelitian ini dilakukan untuk menyelidiki pengaruh adsorpsi karbon aktif terhadap perubahan nilai fluks pada membran UF-PSf, dan menganalisis model pembentukan fouling yang paling tepat untuk menggambarkan proses hibrid adsorpsi dan UF-PSf.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Sampel Air Gambut

Sampel air yang digunakan pada penelitian ini diambil dari Jl. A.Yani Km 17 Kecamatan Gambut, Kalimantan Selatan. Sampel disimpan dan dihomogenkan dalam satu wadah yang telah dilapisi penutup gelap. Karakterisasi air gambut dilakukan dengan mengukur parameter DOC, UV_{254} , $KMnO_4$ untuk mengetahui kandungan BOAnya dan pH. Pemeriksaan dilakukan seminggu sekali selama satu bulan untuk mengetahui perubahan kandungan BOA terhadap waktu. Karbon aktif yang digunakan pada proses pra-perlakuan adsorpsi adalah *powdered activated carbon* (PAC) Merck.

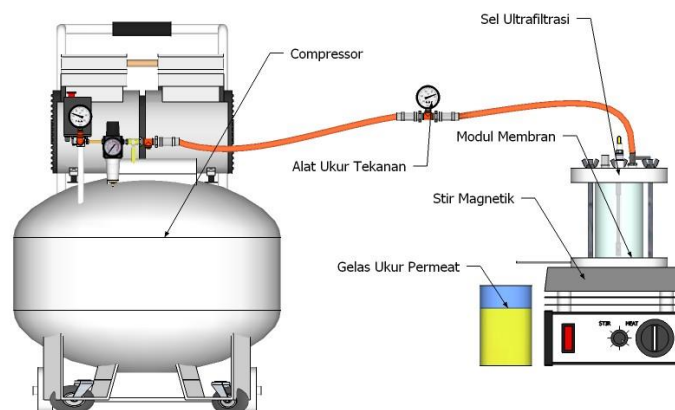
2.2 Proses Hibrid adsorpsi dan UF-PSf

Membran yang digunakan pada penelitian ini adalah membran polisulfon (PSf) yang telah dimodifikasi dengan aditif poli etilen gliko (PEG) 600. Komposisi dan metode pembuatan membran PSf mengacu pada penelitian Tutriyanti (2017) menggunakan teknik inversi fasa dengan impregnasi KCl 0,5%. Selanjutnya melakukan percobaan pra-perlakuan adsorpsi dengan pH optimum 4 dan variasi dosis PAC 80-1120 mg/L dengan kecepatan pengadukan 180 rpm selama 2 jam mengacu pada penelitian Aziza (2013). Kemudian air hasil olahan disaring dengan *vacum* filter untuk dianalisis kandungan BOAnya. Dari analisis tersebut akan didapatkan dosis optimum proses pra-perlakuan adsorpsi yang kemudian dilanjutkan ke tahap UF.

Tahapan proses hibrid adsorpsi dan UF-PSf yaitu meletakkan kertas saring sebagai *support* di bawah dan di atas membran dalam sel ultrafiltrasi. Skema alat ultrafiltrasi dapat dilihat pada **Gambar 1**. Sistem aliran yang digunakan adalah *dead-end* dengan mengukur volume permeat setiap 5 menit dengan waktu operasi 60 menit. Selanjutnya dilakukan analisis permeat untuk mengetahui rejeksi BOA pada proses hibrid adsorpsi dan UF-PSf. Percobaan tersebut juga dilakukan pada larutan blanko (akuades+PAC) dengan perlakuan yang sama untuk mengetahui pengaruh adsorben pada proses pembentukan fouling membran.

2.3 Metode Analisis

Parameter yang dianalisis adalah DOC, absorbansi UV_{254} , zat organik ($KMnO_4$) dan pH. DOC ditentukan menggunakan TOC *analyzer* (Shimadzu TOC-L). Absorbansi UV_{254} diukur menggunakan alat UV-1600 *Spectrophotometer*, sedangkan zat organik dianalisis dengan metode titrasi permanganometri. Pengukuran pH dilakukan menggunakan pH meter (Hanna). Karakterisasi membran dilakukan melalui perhitungan permeabilitas membran dengan mengukur fluks akuades pada variasi tekanan operasi 1-3 bar. Analisis morfologi membran menggunakan *Scanning electron microscope* (SEM) pada tampak permukaan dan penampang melintang dengan perbesaran 1000x dan 2500x. Data digital foto SEM dianalisis lanjutan dengan *software* Image-J untuk mengetahui ukuran pori membran mengacu pada Kurniawan dkk. (2011).



Gambar 1. Skema alat operasi UF sistem aliran *dead-end*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakterisasi Sampel Air Gambut

Hasil analisis karakterisasi air gambut yang diambil dari Jl. A.Yani Km 17 kecamatan Gambut, Kalimantan Selatan disajikan pada **Tabel 1**. Kandungan DOC dan zat organik yang digunakan pada penelitian ini relatif tinggi yaitu 36,4 mg/L (DOC) dan 120,1 mg/L KMnO_4 (zat organik), hasil ini sesuai dengan air gambut yang dilaporkan Aisyahwalsiah (2013) dan Saputri (2008).

Tabel 1 menunjukkan nilai UV_{254} yang digunakan pada penelitian ini relatif kecil dibandingkan dengan UV_{254} yang dilaporkan Herwati dkk. (2015), Saputera (2014) berkisar antara 1,646-2,503 1/cm. Hal tersebut terjadi karena lokasi pengambilan sampel yang berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Parameter SUVA mengindikasikan karakter aromatik pada air permukaan. nilai SUVA pada **Tabel 1** sebesar 2,723 L/mg.m berarti BOA merupakan campuran hidrofobik dan hidrofilik dengan berat molekul campuran sesuai teori Edzwald dan Tobiason (1999).

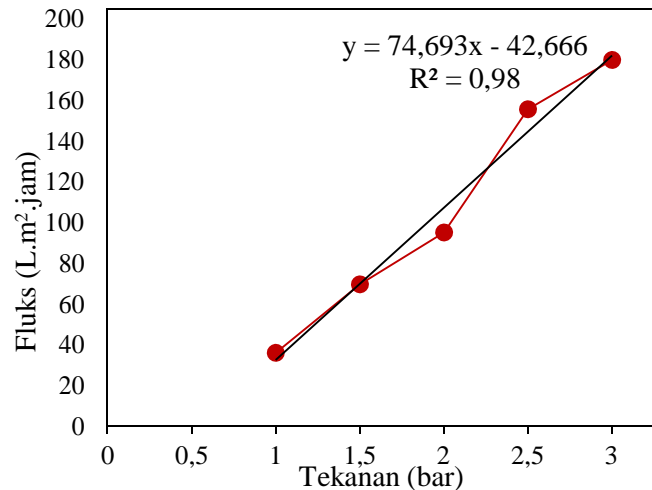
3.2 Karakterisasi Membran Polisulfon

3.2.1 Permeabilitas Membran Polisulfon

Hasil karakterisasi membran secara fungsional melalui perhitungan fluks akuades untuk melihat permeabilitas membran disajikan pada **Gambar 2**. Nilai fluks akuades paling tinggi terjadi pada tekanan 3 bar sebesar 179,3 $\text{L/m}^2\cdot\text{jam}$ sedangkan nilai fluks terendah terjadi pada tekanan 1 bar yaitu 35,5 $\text{L/m}^2\cdot\text{jam}$. Kecenderungan yang terjadi adalah semakin besar tekanan operasi, maka nilai fluks yang dihasilkan juga semakin meningkat, begitu pula sebaliknya. Hal tersebut sesuai dengan teori gaya dorong (*driving force*) dari operasi membran.

Tabel 1. Hasil Karakterisasi Air Gambut

No	Parameter	Satuan	Minggu ke-				Rata rata
			I	II	III	IV	
1	UV_{254}	1/cm	0,977	1,036	0,977	0,955	0,991
2	DOC	mg/L	36,4	-	-	-	36,4
3	pH	-	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
4	SUVA	L/mg.m	2,684	2,846	2,739	2,624	2,723
5	Zat organik (KMnO_4)	mg/L	120,1	126,4	120,1	113,8	120,1

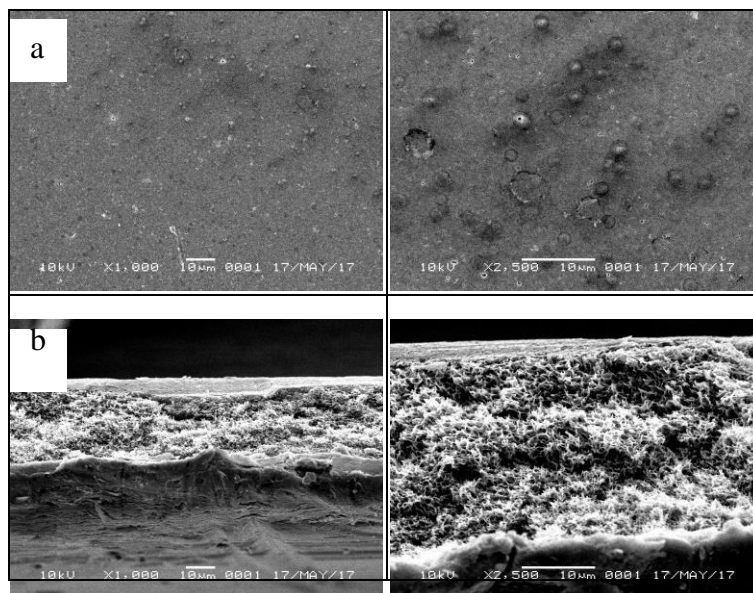


Gambar 2. Grafik hubungan antara fluks akuades terhadap tekanan

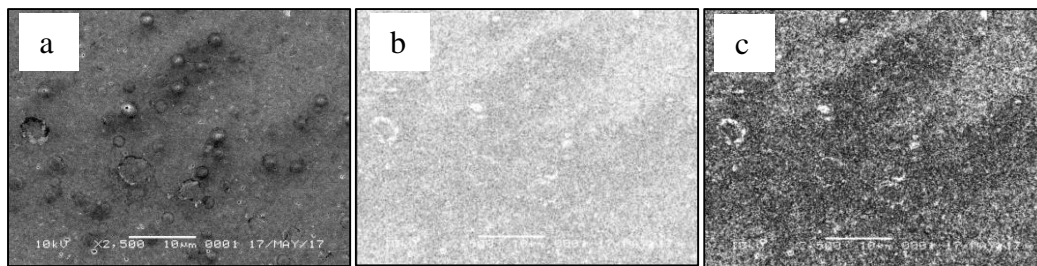
Konstanta permeabilitas membran UF menurut Mulder (1996) adalah $50 \text{ L/m}^2.\text{jam.atm} - 500 \text{ L/m}^2.\text{jam.atm}$, dan jika merujuk kepada Wenten (1999) nilai permeabilitas UF berkisar $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari.bar} - 5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari.bar}$ ($20 \text{ L/m}^2.\text{jam.bar} - 200 \text{ L/m}^2.\text{jam.bar}$). Pada **Gambar 2** ditunjukkan nilai permeabilitas membran PSf sebesar $74,693 \text{ L/m}^2.\text{jam.bar}$. Sesuai dengan literatur, maka membran PSf yang telah dibuat dapat dikategorikan sebagai membran UF.

3.2.2 Analisis Morfologi Membran Polisulfon

Hasil analisa morfologi membran tampak permukaan dan penampang melintang seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3** (a dan b) memiliki susunan pori yang rapat dan tidak terdapat *makrovoid* (rongga besar). Membran PSf yang telah dibuat memiliki struktur pori asimetrik terlihat pada bagian atas membran terdapat lapisan tipis atau *skin layer* dan bagian bawahnya memiliki pori yang lebih besar yang disebut *spinger* (**Gambar 3 b**).



Gambar 3. Foto SEM membran PSf sebelum digunakan perbesaran 1000x dan 2500x (a) tampak permukaan dan (b) penampang melintang



Gambar 4. Hasil pengolahan gambar SEM perbesaran 2500x dengan Image-J (a) sebelum diolah (b) setelah *Threshold* dan (c) gambar *Outline*

Membran PSf yang digunakan pada penelitian ini memiliki ukuran pori kurang dari 10 μm (**Gambar 3 a**). Namun dari foto tersebut tidak dapat ditentukan secara pasti berapa ukuran porinya. Penentuan distribusi ukuran pori dilakukan dengan *software* Image-J mengikuti penelitian Kurniawan dkk. (2011) menggunakan data digital foto SEM. Hasil pengolahan gambar SEM dengan Image-J dapat dilihat pada **Gambar 4**.

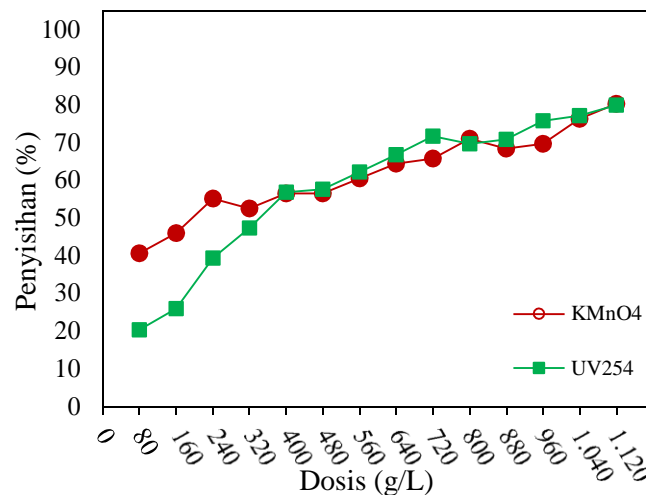
Hasil Image-J pada **Gambar 4** didapatkan luas rata-rata pori membran 0,0047 μm^2 dan diameter rata-rata pori membran PSf sebesar 0,0773 μm . Ukuran pori membran UF berkisar antara 1-100 nm (0,001-0,1 μm) merujuk kepada Mulder (1996). Berdasarkan literatur tersebut maka membran PSf yang digunakan pada penelitian ini dapat dikategorikan sebagai membran UF.

3.3 Proses Hibrid Adsorpsi dan UF-PSf

3.3.1 Penentuan Dosis Optimum Adsorpsi

Hasil penyisihan zat organik (KMnO_4) dan UV_{254} pada penentuan dosis optimum proses adsorpsi ditunjukkan pada **Gambar 5**, dapat dilihat penambahan dosis adsorben berpengaruh terhadap peningkatan penyerapan BOA. Kecenderungan yang terjadi adalah semakin besar penambahan adsorben, maka efisiensi penyisihan BOA juga semakin meningkat.

Pada **Gambar 5** disajikan data hubungan antara penyisihan UV_{254} dan KMnO_4 terhadap variasi dosis karbon aktif. Pada dosis 80-320 mg/L (dosis relatif rendah) persentase penyisihan KMnO_4 lebih besar daripada persentase penyisihan UV_{254} . Sedangkan pada dosis relatif tinggi (400-1120 mg/L) persentase penyisihan zat organik (KMnO_4) UV_{254} relatif sama. Fenomena ini seperti yang dijelaskan oleh Nilson dan DiGiano (1996) bahwa karbon aktif cenderung mengadsorpsi material zat organik dengan berat molekul menengah, sehingga menyisakan sedikit ruang untuk menyerap materi zat organik dengan berat molekul tinggi dan sangat rendah. Setelah zat organik dengan berat molekul menengah diserap, maka penambahan dosis tidak lagi mengalami peningkatan penyisihan zat organik yang signifikan.



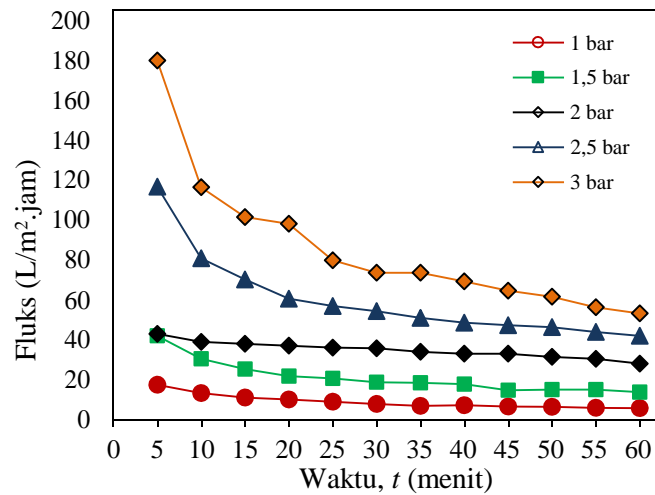
Gambar 5 Grafik hubungan antara persentase penyisihan BOA terhadap dosis

Pada **Gambar 5** persentase penyisihan UV_{254} dan $KMnO_4$ paling tinggi terjadi pada dosis terbesar yaitu 1120 mg/L sebesar 80% (UV_{254}) dan 80,35% ($KMnO_4$), sedangkan persentase penyisihan paling rendah terjadi pada dosis terendah 80 mg/L sebesar 20,42% (UV_{254}), dan 40,76 ($KMnO_4$). Pola yang terjadi adalah semakin besar penambahan karbon aktif, maka persentase penyisihan BOA juga semakin meningkat. Kondisi optimum proses adsorpsi terjadi pada pH 4 dan dosis optimum 1040 mg/L dilihat dari persentase penyisihan UV_{254} sebesar 77,23% dan penyisihan $KMnO_4$ 76,39% yang memiliki selisih relatif kecil terhadap dosis 1120 mg/L.

3.3.2 Pengaruh Pra-perlakuan Adsorpsi Terhadap Perubahan Fluks Permeat

Pra-perlakuan adsorpsi pada membran UF mampu meningkatkan nilai fluks permeat dibandingkan tanpa pra-perlakuan seperti yang dilaporkan Konieczny dan Klomfas (2002), Lee dkk. (2007), Riduan (2005). Pra-perlakuan adsorpsi mampu meningkatkan fluks air gambut sebesar 43% seperti yang dilaporkan Riduan (2005). Pra-perlakuan adsorpsi digunakan untuk menyisihkan BOA pada air umpan, sehingga *cake/layer* yang terbentuk pada permukaan membran dapat direduksi. Hal ini dibuktikan dengan tingkat penyisihan BOA yang tinggi pada proses adsorpsi, sehingga BOA pada umpan dapat direduksi (**Gambar 5**).

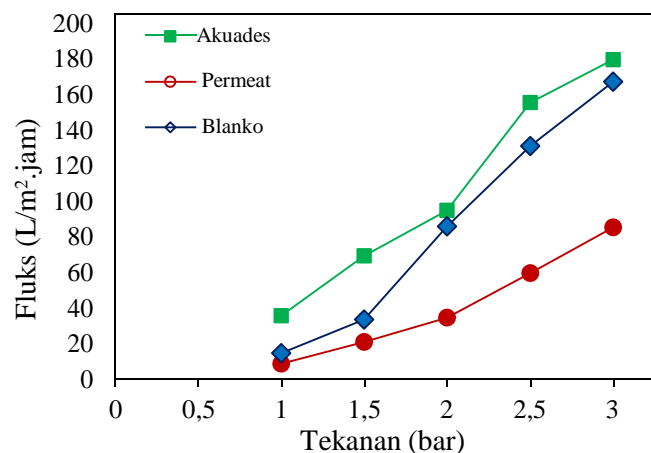
Semakin lama waktu operasi membran, maka fluks permeat yang dihasilkan semakin rendah (**Gambar 6**). Pada 5 menit pertama nilai fluks tekanan 1 bar sebesar 16,92 L/m².jam dan fluks semakin menurun hingga menit ke-60 sebesar 5,31 L/m².jam. Hal tersebut juga terjadi pada tekanan 1,5 bar, 2 bar, 2,5 bar, dan 3 bar. Kecenderungan yang terjadi adalah nilai fluks menurun seiring dengan lama waktu operasi. Hal ini dapat disebabkan karena adanya perbedaan bentuk dan ukuran molekul serta tingkat kekasaran membran sebagai faktor yang berpengaruh terhadap penurunan fluks (Herwati dkk., 2015).



Gambar 6. Grafik hubungan antara fluks permeat terhadap waktu

Dari **Gambar 6** dapat dilihat tekanan berpengaruh relatif terhadap fluks. Laju fluks akan mengalami penurunan pada masing-masing tekanan seiring dengan lama waktu operasi. Pada waktu operasi kisaran 0 hingga 15 menit penurunan fluks lebih tajam pada tekanan 2,5 bar dan 3 bar. Pada operasi diatas 15 menit, penurunan fluks relatif landai atau kecil. Sedangkan pada tekanan 1 bar, 1,5 bar, dan 2 bar penurunan fluks relatif landai sepanjang waktu operasi.

Penurunan nilai fluks (J) setiap menitnya mengindikasikan bahwa telah terbentuk fouling membran. Hal ini dibuktikan dari nilai fluks permeat lebih kecil dibandingkan dengan nilai fluks akuades dan fluks blanko (akuades+PAC) yang cenderung lebih tinggi (**Gambar 7**). Berdasarkan **Gambar 7** diketahui nilai fluks blanko memiliki selisih persentase relatif kecil dibandingkan dengan fluks akuades. Hal tersebut menunjukkan bahwa PAC berpengaruh relatif kecil terhadap penurunan fluks seperti yang dilaporkan Mozia dkk. (2005). Sehingga fouling yang terjadi disebabkan oleh keberadaan BOA yang memampat di permukaan membran saat melewati umpan air gambut. Fluks dan fouling saling berbanding terbalik. Kecenderungan yang terjadi adalah jika nilai fluks menurun, maka dipastikan fouling meningkat, begitu pula sebaliknya.

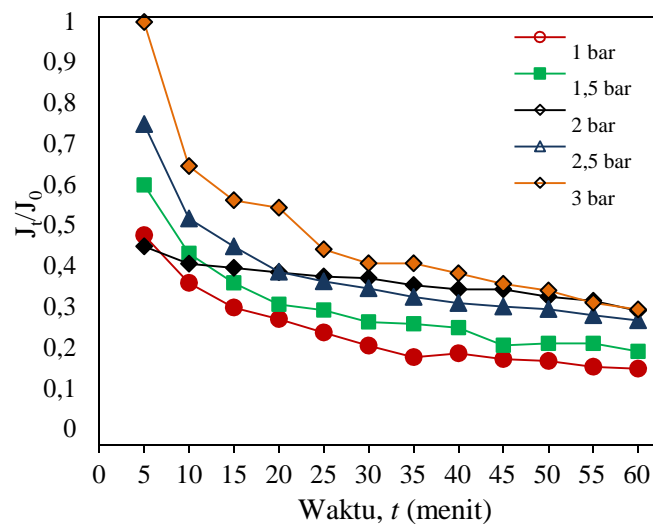


Gambar 7. Grafik hubungan antara fluks akuades, fluks permeat, dan fluks blanko terhadap tekanan

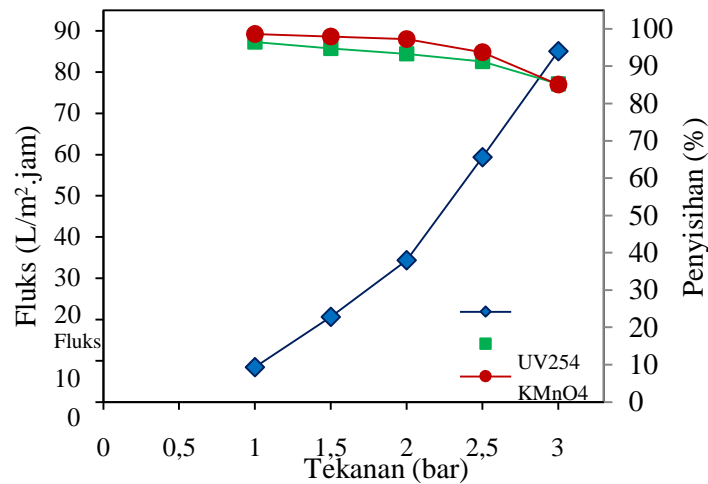
Pada **Gambar 8** menunjukkan pola hubungan antara J_t/J_0 terhadap waktu. Semakin kecil J_t/J_0 , maka fouling membran yang terjadi semakin besar. Pada **Gambar 8** terlihat bahwa nilai J_t/J_0 pada tekanan 2 bar cenderung lebih landai dibandingkan dengan tekanan 1 bar dan 1,5 bar. Nilai J_t/J_0 pada tekanan 3 bar paling tinggi dibandingkan pada tekanan 1 bar, 1,5 bar, 2 bar, dan 2,5 bar.

Berdasarkan **Gambar 9** terlihat fluks permeat berbanding terbalik terhadap rejeksi BOA. Pada tekanan 1 bar, fluks permeat yang dihasilkan paling sedikit dibandingkan dengan fluks pada tekanan 1,5 bar, 2 bar, 2,5 bar, dan 3 bar. Kecilnya fluks permeat yang dihasilkan pada tekanan 1 bar cenderung berbanding terbalik dengan rejeksi BOA yang justru paling besar pada tekanan 1 bar. Berbeda dengan tekanan 3 bar, dimana rejeksi BOA paling kecil, namun fluks permeat paling tinggi dibandingkan dengan tekanan 1 bar, 1,5 bar, 2 bar, dan 2,5 bar.

Berdasarkan **Gambar 9** dapat dilihat rejeksi penyisihan BOA paling tinggi terjadi pada tekanan 1 bar sebesar 96,49% (UV_{254}) dan 98,61% ($KMnO_4$) dengan nilai fluks terendah 8,46 $L/m^2.jam$. Sedangkan rejeksi penyisihan BOA terendah terjadi pada tekanan 3 bar sebesar 85,24% (UV_{254}) dan 85,07% ($KMnO_4$) dengan nilai fluks paling tinggi sebesar 85,07 $L/m^2.jam$. Berdasarkan literatur kecenderungan yang terjadi adalah semakin besar tekanan operasi yang diberikan, maka rejeksi akan semakin menurun, hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilaporkan Herwati dkk. (2015). Dapat disimpulkan tekanan operasi terbaik pada proses hibrid adsorpsi dan UF-PSf terjadi pada tekanan 3 bar dilihat dari perbandingan fluks permeat dan rejeksi BOA terhadap tekanan pada membran UF-PSf pada **Gambar 9**.

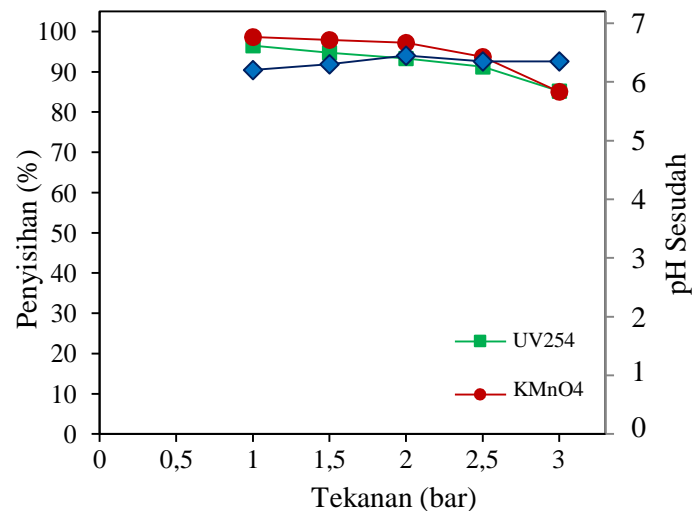


Gambar 8. Grafik hubungan antara J_t/J_0 terhadap waktu



Gambar 9. Grafik hubungan antara fluks permeat dan rejeksi BOA terhadap tekanan

Pada proses hibrid adsorpsi dan UF-PSf, kecenderungan yang terjadi adalah rejeksi KMnO_4 lebih tinggi daripada rejeksi UV_{254} (**Gambar 10**). Karakteristik air gambut hasil pra-perlakuan adsorpsi memiliki kandungan zat organik (KMnO_4) dengan berat molekul besar yang lebih tinggi daripada UV_{254} . Parameter UV_{254} yang tersisa pada permeat merupakan BOA dengan berat molekul kecil yang tidak terserap oleh karbon aktif. Sehingga penyisihan KMnO_4 dengan berat molekul besar lebih optimal ditahan oleh membran PSf, sedangkan UV_{254} dengan berat molekul kecil dari membran dapat lolos yang mengakibatkan rendahnya penyisihan UV_{254} . Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilaporkan Notodarmojo dan Deniva (2004) pada penyisihan zat organik, yang menyatakan bahwa ukuran pori dan berat molekul umpan berpengaruh terhadap penyisihan zat organik. Pada **Gambar 10** menunjukkan fenomena pH air gambut setelah proses hibrid adsorpsi dan UF-PSf relatif tidak berubah terhadap tekanan operasi. Nilai pH permeat setelah melewati membran berkisar antara 6,2-6,5 sesuai dengan hasil penelitian Aziza (2013) cenderung pH netral.



Gambar 10. Grafik hubungan antara Rejeksi BOA dan pH sesudah hibrid adsorpsi dan UF-PSf terhadap tekanan

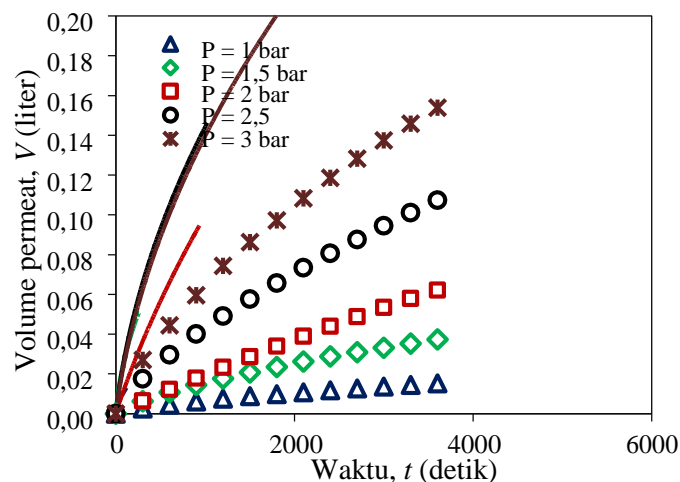
3.3.3 Analisis Pemodelan Fouling Membran

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan MFI untuk mengetahui tingkat fouling yang paling kecil sampai yang paling besar pada masing-masing tekanan. Nilai MFI digunakan untuk memprediksi potensial fouling yang terjadi. MFI digambarkan sebagai gradien linear hubungan antara t/V terhadap V . Nilai MFI berbanding lurus terhadap pembentukan fouling. Semakin besar gradien MFI, maka potensi pembentukan fouling juga semakin besar, begitu pula sebaliknya.

Tekanan 1 bar memiliki nilai MFI paling besar yaitu 9.336.124,78 dibandingkan dengan nilai MFI pada tekanan 1,5 bar, 2 bar, 2,5 bar, dan 3 bar (**Tabel 2**). Hasil pemodelan MFI sesuai dengan hasil penelitian bahwa pada tekanan 1 bar potensial foulingnya paling tinggi mengingat rendahnya nilai fluks yang dihasilkan pada tekanan 1 bar. Berdasarkan kesesuaian model MFI dengan hasil penelitian, maka model MFI dapat dipakai untuk mengetahui potensial fouling yang terjadi pada proses hibrid adsorpsi dan UF-PSf penyisihan BOA air gambut.

Tabel 2. Nilai MFI pada masing-masing tekanan

Tekanan (bar)	MFI	R ²
1	9336124,78	0,998
1,5	1534838,27	0,998
2	177863,50	0,984
2,5	177525,32	0,989
3	92817,87	0,996



Gambar 11. Grafik MFI hubungan antara volume permeat terhadap waktu

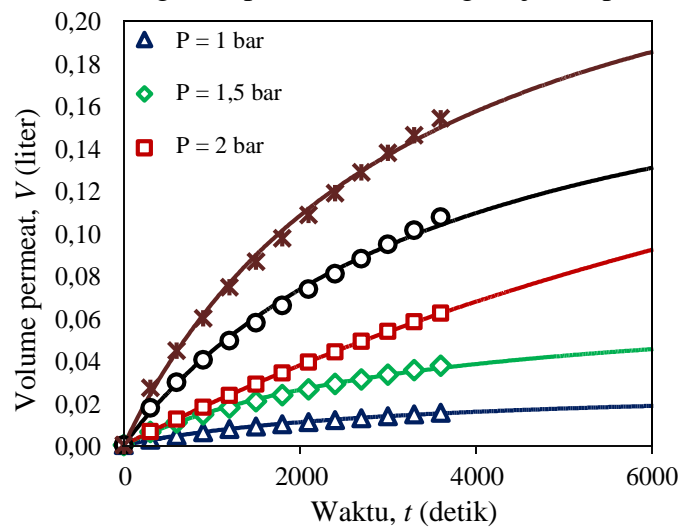
Tabel 3. Nilai S_{pb} pada masing-masing tekanan

Tekanan (bar)	S_{pb}	R ²
1	34,985	0,989
1,5	14,021	0,976
2	3,005	0,977
2,5	4,675	0,961
3	3,477	0,972

Pola model MFI menunjukkan hasil perbandingan lurus masing-masing tekanan operasi terhadap waktu. Kecenderungan yang terjadi adalah semakin landai kurva MFI, maka potensi terjadinya fouling semakin besar pula (**Gambar 11**). Jika kurva MFI tajam, maka potensi fouling yang terjadi relatif kecil terhadap waktu. Selain MFI, pemodelan *pore blocking* juga dapat digunakan. Nilai *pore blocking* berbanding lurus terhadap laju penyumbatan pada pori membran. Semakin besar gradien *pore blocking*, maka penyumbatan pori membran juga semakin cepat, begitu pula sebaliknya.

Tabel 3 menunjukkan tekanan 1 bar memiliki nilai S_{pb} yang paling besar yaitu 34,985 dibandingkan dengan nilai S_{pb} pada tekanan 1,5 bar, 2 bar, 2,5 bar, dan 3 bar. Berdasarkan perhitungan nilai S_{pb} , diketahui penyumbatan pori tercepat pada membran terjadi pada tekanan 1 bar, dengan R^2 tertinggi yaitu 0,989. Hasil pemodelan *pore blocking* juga dapat digunakan untuk memprediksi laju penyumbatan pori membran pada masing-masing tekanan. Pemodelan *pore blocking* digunakan untuk memprediksi laju penyumbatan pori pada membran pada jangka waktu yang panjang. Pola model *pore blocking* menunjukkan kenaikan seiring dengan lama waktu operasi (**Gambar 12**).

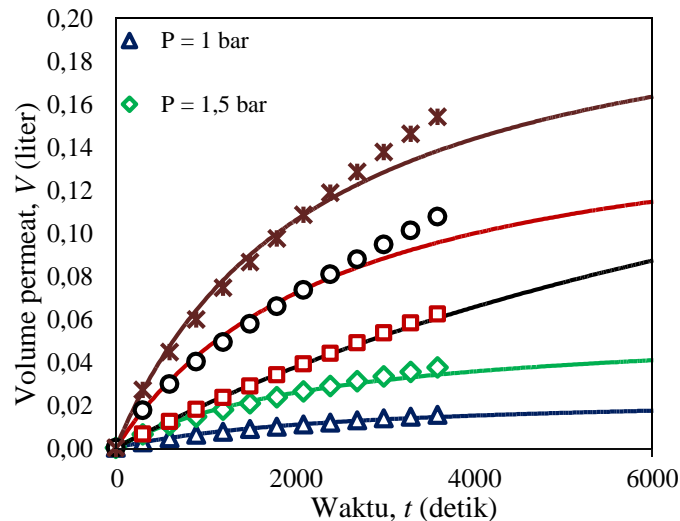
Berdasarkan **Tabel 4** diketahui hasil pada model kurva *saturated* dengan variasi tekanan menunjukkan hasil yang kurang konsisten, yaitu pada tekanan 1 bar memiliki nilai V_{max} terendah, namun tidak sebanding dengan nilai K_f yang memiliki nilai terendah pada tekanan 3 bar. Berdasarkan hasil tersebut, maka model kurva *saturated* kurang mempresentasikan tingkat jenuh pada tekanan yang bervariasi.



Gambar 12. Grafik *Pore Blocking* hubungan antara volume permeat terhadap waktu

Tabel 4. Nilai V_{max} dan K_f pada masing-masing tekanan

Tekanan (bar)	V_{max}	K_f
1	0,0247	44,20
1,5	0,0576	41,97
2	0,2609	200,22
2,5	0,1631	42,68
3	0,2245	37,72



Gambar 13. Grafik kurva *Saturated* hubungan antara volume permeat terhadap waktu

Pemodelan kurva *saturated* digunakan untuk memprediksi tingkat kejenuhan membran dari *cake layer* yang terbentuk. Kejenuhan pada membran terjadi akibat menumpuknya BOA pada permukaan membran yang mengakibatkan penurunan fluks relatif kecil dibandingkan pada menit-menit awal operasi filtrasi membran UF-PSf. Model kurva *saturated* untuk variasi tekanan disajikan pada **Gambar 13**.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan mengenai pengaruh pra-perlakuan adsorpsi terhadap fouling membran UF-PSf pada penyisihan BOA air gambut dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada kondisi optimum pH 4 dan dosis PAC 1040 mg/L dengan tekanan 1-3 bar diperoleh fluks tertinggi pada tekanan 3 bar sebesar 85,064 L/m².jam dengan rejeksi sebesar 85,24% (UV₂₅₄) dan 85,07% (KMnO₄) merupakan kondisi tekanan operasi terbaik proses hibrid adsorpsi dan UF-PSf.
2. MFI merupakan pemodelan yang tepat untuk menggambarkan potensial fouling pada proses hibrid adsorpsi dan UF-PSf pada penyisihan BOA air gambut.

Daftar Rujukan

- Aisyahwalsiah, A. (2013). Optimasi Pengolahan Air Gambut Menggunakan Proses Gabungan Koagulasi dengan Tanah Lempung Gambut (TLG) dan Adsorpsi Karbon Aktif. *Skripsi/Tugas Akhir S-1 Program Studi Teknik Lingkungan*. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru
- Arhin, S. G., Banadda, N., Komakech, A. J., Kabenge, I. dan Wanyama, J. (2016). Membrane Fouling Control in Low Pressure Membranes: A Review on Pretreatment Techniques for Fouling Abatement. *Environ. Eng. Res.* 21. 109-120
- Aziza, S. (2013). Proses Hybrid Adsorpsi dan Ultrafiltrasi pada Penyisihan Bahan Organik Alami (BOA) dalam Air Gambut: Pengaruh Jenis Adsorben Terhadap Fouling Membran *Skripsi/Tugas Akhir S-1 Program Studi Teknik Lingkungan*. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru
- Campinas, M. dan Rosa, M. J. (2010). Assessing PAC Contribution to the NOM Fouling Control in PAC/UF Systems. *Water Research*. Vol. 44. 16636-1644
- Edzwald, J. K. dan Tobiasson, J. E. (1999). Enhanced Coagulation: Us Requirements and a Broader View. *Water Science & Technology*. Vol. 40. 63-70
- Gao, W. H., Liang, J. M., Han, M., Chen, Z. I., Han, Z. S. dan Li, G. B. (2011). Membrane Fouling Control in Ultrafiltration Technology for Drinking Water Production: A review. *Desalination*. 5.

- Herwati, N., Mahmud dan Abdi, C. (2015). Pengaruh pH Air Gambut Terhadap Fouling Membran Ultrafiltrasi. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*. 1. 59-73
- Kim, J., Cai, Z. dan Benjamin, M. M. (2008). Effects of Adsorbents on Membran Fouling by Natural Organic Matter. *Journal of Membrane Science*. 310. 356-364
- Konieczny, K. dan Klomfas, G. (2002). Using Activated Carbon to Improve Natural Water Treatment by Porous Membranes. *Desalination*. 147. 109-116
- Kurniawan, C., Waluyo, T. B. dan Sebayang, P. (2011). Analisis Ukuran Partikel Menggunakan Free Software Image-J. *Seminar Nasional Fisika. Pusat Penelitian Fisika-LIPI*.
- Lee, C., Bae, S., Han, S. dan Kang, L. (2007). Application of Ultrafiltration Hybrid Membrane Process for Reuse of Secondary Effluent. *Desalination*. 202. 239-246
- Mahmud dan Noor, R. (2005). Kinetika Fouling Membran Ultrafiltrasi (UF) Pada Pengolahan Air Berwarna: Pengaruh Interval dan Lamanya Pencucian Balik (*Backwashing*) Membran. *Info-Teknik*. Vol. 6. (62-69)
- Malczewska, B. dan Benjamin, M. M. (2016). Efficacy og Hybrid Adsorption/Membrane Pretreatment for Low Pressure Membrane. *Water Research*. 99. 263-271
- Mozia, S., Tomaszewska, M. dan Morawski, A. W. (2005). Studies on the Effect of Humic Acids and Phenol on Adsorption-Ultrafiltration process performance. *Water Research*. Vol. 39. 501- 509
- Mulder, M. (1996). *Basic Principles of Membrane Technology*. Kluwer Academic Publishers. London
- Nilson, A. dan DiGiano, F. A. (1996). Influence of NOM Composition on Nanofiltration. *J. AWWA*. Vo. 88. 53-66
- Notodarmojo, S. dan Deniva, A. (2004). Penurunan Zat Organik dan Kekeruhan Menggunakan Teknologi Membran Ultrafiltrasi dengan Sistem Aliran *Dead-End* (Studi Kasus: Waduk Saguling, Padalarang). *PROC. ITB Sains & Tek*. Vol. 36 A. 63-82
- Pratiwi, N. E., Husaini dan Suhartono, E. (2016). Filtrasi Campuran Pasir dan Ampas Tahu Kering Sebagai Adsorben Logam Besi dan Mangan pada Air Gambut. *Jurnal Berkala Kesehatan*. Vol. 2. 88-97
- Riduan, R. (2005). Studi Pengaruh Penambahan Karbon Aktif pada Optimasi Penurunan Warna dan Kandungan Organik Pada Air Gambut Menggunakan Membran Ultrafiltrasi. *Info Teknik*. Vol. 6. 54-60
- Saputera, A. A. (2014). Proses Hibrid Koagulasi-Ultrafiltrasi dalam Penyisihan Bahan Organik Alami (BOA) pada Air Gambut: Pengaruh Variasi Dosis Koagulasi terhadap Fouling Membran. *Skripsi/Tugas Akhir S-1 Program Studi Teknik Lingkungan*. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru
- Saputri, G. M. I. (2008). Penurunan Warna Air Gambut dengan Adsorpsi Lempung Tanah Gambut dan Membran Selulosa Asetat. *Skripsi/Tugas Akhir S-1 Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru
- Sivakumar, M., Mohan, D. R. dan Rangarajan, R. (2006). Studies on Cellulose Acetate-Polysulfine Ultrafiltration Membranes II. Effect of Additive Concentration. *Journal of Membrane Science*. 268. 208-219
- Syarfi, H. S. (2007). Rejeksi Zat Organik Air Gambut dengan Membran Ultrafiltrasi. *Jurnal Sains dan Teknologi*. Vol. 6.
- Tang, C., He, Z., Zhao, F., Liang, X. dan Li, Z. (2014). Effects of cations on the formation of ultrafiltrasi membrane fouling layers when filtering fulvic acid. *Desalination*. 352. 174- 180
- Tutriyanti. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Membran Polisulfon dengan Teknik Inversi Fasa: Pengaruh Konsentrasi Impregnan KCl pada Koagulan terhadap Struktur Pori Membran. *Skripsi/Tugas Akhir S-1 FMIPA*. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru
- Wardani, A. K. (2013). Pengaruh Aditif pada Pembuatan Membran Ultrafiltrasi Berbasis Polisulfon untuk Pemurnian Air Gambut. Institut Teknologi Bandung. Bandung
- Wenten, I. G. (1999). Teknologi Membran Industrial. Institut Teknologi Bandung. Bandung
- Widjaja, T., Altway, A. dan Soeprijanto. (2009). Studi Proses Hybrid: Adsorpsi pada Karbon Aktif/Membran Bioreaktor untuk Pengolahan Limbah Cair Industri. Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia. TPL05-1.

- Yunos, M. Z., Harun, Z., Basri, H. dan Ismail, A. F. (2014). Studies on Fouling by Natural Organic Matter (NOM) on Polysulfone Membranes: Effect of Polyethylene Glycol (PEG). *Desalination*. 333. 36-44
- Zularisam, A., Ismail, A., Salim, M., Sakinah, M. dan Ozaki, H. (2007). The Effect of Natural Organic Matter (NOM) Fractions on Fouling Characteristics and Flux Recovery of Ultrafiltration Membranes. *Desalination*. Vol. 212. 191-208
- Zularisam, A. W., Ismail, A. F., Salim, M. R., Sakinah, M. dan Matsuura, T. (2009). Application of coagulation-ultrafiltration hybrid process for drinking water treatment: Optimization of operating conditions using experimental design. *Separation and Purification Technology*. 65. 193-210
- Zularisam, A. W., Ismail, A. F. dan Salim, R. (2006). Behaviours of Natural Organic Matter in Membrane Filtration for Surface Water Treatment-A Review. *Desalination*. Vol. 194. 211-231

Halaman ini sengaja di kosongkan